

УДК 621.391

EDN [NXXXKDI](#)



Анализ аппарата GERT-сетей для оценки вероятностной составляющей временных характеристик в многоконтурных системах управления АСУ ТП

И.В. Ковалев^{1,2,3}, В.В. Лосев^{2*}, А.О. Калинин², М.В. Сарамуд^{1,2}

¹Сибирский федеральный университет, пр. Свободный, 79,
Красноярск, 660041, Россия

²СибГУ им. М.Ф. Решетнева, пр. им. газеты Красноярский рабочий, 31, Красноярск,
660037, Россия

³Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, 90, Красноярск,
660049, Россия

*E-mail: basilos@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблематика исследовательского вопроса, связанного с вероятностно-временными характеристиками систем управления АСУ ТП. Данный вопрос является актуальным, поскольку качество управления напрямую влияет на использование ресурсов технологического процесса: изменение режимов работы технического обеспечения, перерасход материалов, продуктов и энергии, возникновение брака, и как следствие повышение углеродного следа производимой продукции. Основываясь на подходах анализа и оценки временных характеристик технического обеспечения одноконтурных систем управления, для оценки вероятностной составляющей, предложен подход для многоконтурных систем управления, рассматриваемый в контексте методологии сетевого анализа. Известные GERT - сети описывают графики со стохастической структурой эволюции и стохастической длительностью операций, и раскрывают связанные понятия "выполнение сети" и "реализация сети". Приведен аналитический и вычислительный аппарат GERT-сети, применяемый для решения задачи свертываемости многоконтурных сетей, а также для оценки вероятностной составляющей временных характеристик в многоконтурных системах управления АСУ ТП. Это, в свою очередь, позволит провести исследования, связанные с выполнением всей сети. В частности, могут быть определены моменты распределения времени выполнения сети, с помощью которых будут вычислены математическое ожидание и дисперсия времени выполнения сети и соответствующего ей процесса.

Ключевые слова: вероятностно-временные характеристиками, GERT – сети, свертываемость многоконтурных сетей.

Analysis of the GERT-network apparatus for evaluating the probabilistic component of time characteristics in multi-circuit control systems of automated process control systems

I.V. Kovalev^{1,2}, V.V. Losev^{2*}, A.O. Kalinin², M.V. Saramud^{1,2}

¹ Siberian Federal University, 79 Svobodny pr., Krasnoyarsk, 660041, Russia

² Reshetnev University, 31 pr. im. gazety Krasnoyarskij rabochij, Krasnoyarsk, 660037, Russia

³ Krasnoyarsk State Agrarian University, 90 pr. Mira, Krasnoyarsk, 660049, Russia

*E-mail: basilos@mail.ru

Abstract. The article deals with the problems of the research question related to the probabilistic-temporal characteristics of control systems for APCS. This issue is current. The quality of management directly affects the use of the resources of the technological process: changing the modes of operation of technical support, overspending of materials, products and energy, the occurrence of defects. As a result, an increase in the carbon footprint of manufactured products. Based on the approaches to the analysis and evaluation of the temporal characteristics of the technical support of single-loop control systems, to assess the probabilistic component, an approach for multi-loop control systems is proposed, considered in the context of the network analysis methodology. Known GERT networks describe graphs with a stochastic evolution structure and stochastic duration of operations, and reveal the related concepts of "network execution" and "network implementation". The analytical and computing apparatus of the GERT-network is presented, which is used to solve the problem of multi-loop network convolution, as well as to estimate the probabilistic component of temporal characteristics in multi-loop APCS control systems. This, in turn, will allow for research related to the performance of the entire network. In particular, moments of distribution of the network execution time can be determined, with the help of which the mathematical expectation and variance of the network execution time and the corresponding process will be calculated.

Keywords: probabilistic-temporal characteristics, GERT networks, multi-loop network convolution.

1. Введение

Задача анализа вероятностно-временных характеристик технического обеспечения АСУ ТП на сегодняшний день имеет множество подходов и решений. В частности, одним из подходов является получение функциональных схем временных задержек элементов в виде графического изображения (циклограммы). Это позволяет выполнить анализ функции распределения временной задержки путем разложения на синусоидальные функции, оценку периода функции межузлового перехода, выявление периодичности распределения временных задержек всего контура в целом и т.д. [1] Данный подход применим для одноконтурных систем автоматического регулирования параметра технологического процесса, на основе данных технической документации узлов регулятивной карты. Малые АСУ ТП имеют размерность десятков контролируемых и регулируемых параметров [2] и многоконтурное зависимое регулирование, что в свою очередь, требует иных подходов к формализации структурных схем контуров регулирования и доступного аналитического аппарата.

Необходимо получить ответы на следующие вопросы: значение величины задержки в контуре регулирования, понимание типа распределения случайной величины, возможности приведения многоконтурной сети к эквивалентной путем свертывания.

В качестве искомых подходов к формализации может быть рассмотрена методология сетевого анализа [3, 4], рассматривая контуры регулирования в качестве сетей [5]. Известные GERT - сети описывают графики со стохастической структурой эволюции и стохастической длительностью операций [6], и раскрывают связанные понятия "выполнение сети" и "реализация сети".

2. Аппарат GERT-сетей

Рассмотрим основные процедуры системы GERT. В качестве модели процесса будем рассматривать сеть $G = (N, A)$, содержащую только GERT-узлы, которые образуют множество N . Поскольку узлы стохастической сети могут быть интерпретированы как состояния системы, а дуги как переходы из одного состояния в другое, то данную семантику перехода можно интерпретировать вероятностью выполнения. Для формализации структуры многоконтурных АСУ ТП будем использовать следующие узлы сети: тип входной функции - узел выполняется, если выполнена любая дуга,

входящая в него, при условии, что в заданный момент времени может выполняться только одна дуга; и вероятностный тип выходной функции.

Под операцией, связанной с выполнением узла, будем понимать прохождение сигнала регулятивной карты одного контура. Пусть время выполнения операции, учитывающее временную задержку - (i,j) есть случайная величина Y_{ij} . По определению операция (i,j) может быть выполнена только в том случае, если выполнен узел i . Поэтому для изучения вопросов, связанных с выполнением этой операции, необходимо знать условную вероятность (в дискретном случае) или плотность распределения (в непрерывном случае) случайной величины Y_{ij} при условии, что узел i выполнен. Данный подход применим для исследования, связанного с выполнением всей сети – формализованной многоконтурной АСУ ТП.

3. Описание подхода применения аппарата GERT в задаче оценки вероятностной составляющей временных характеристик

Задержки сигнала имеют физическую природу и различный тип распределения: Нормальное (НО), Пуассона (Р), Биномиальное (В), Накагами (N) и другие. Закон распределения временных задержек в контурах систем автоматического управления (САУ) остается неизвестным и не является постоянным для всего множества контуров, особенно в многоконтурных системах [7].

Пусть f_{ij} – условная вероятность или плотность распределения времени выполнения операции (i,j) . Условная производящая функция моментов случайной величины Y_{ij} определяется как $M_{ij}(s) = E[e^{sY_{ij}}]$ (уравнение 1).

$$M_{ij}(s) = \begin{cases} \int e^{sy_{ij}} f(y_{ij}) dy_{ij} \\ \sum e^{sy_{ij}} f(y_{ij}) \end{cases}$$

т.е., для непрерывной случайной величины и дискретной случайной величины.

Пусть p_{ij} — вероятность того, что операция (i,j) будет выполнена при условии, что узел i выполнен. Для случайной величины Y_{ij} определим W-функцию как $W_{ij}(s) = p_{ij}M_{ij}(s)$. С помощью данного преобразования всегда можно определить сеть G' , структура которой идентична структуре сети G , только вместо двух параметров дуг p_{ij} и y_{ij} присутствует один параметр W_{ij} .

Если времена выполнения операций сети G представляются независимыми случайными величинами, то G' обладает рядом свойств, представляющих интерес с вычислительной точки зрения. Для изучения этих свойств мы рассмотрим три частных случая 1) G' состоит из двух последовательных дуг; 2) G' - из двух параллельных ветвей, 3) G' - из одной ветви и одной петли.

Таким образом, сеть G' - может выступать оператором преобразования соединения структурных элементов контура регулирования, что решает задачу свертываемости многоконтурных сетей.

Отметим, что при использовании системы GERT необходимо учитывать основные положения и аппарат теории потоковых графов. Наиболее известным результатом в данной области является топологическое уравнение Мейсона [8], которое может быть использовано для потоковых графов с произвольной структурой.

Рассмотрим пример допустимой интерпретации многоконтурной АСУ ТП аппаратом GERT. На рисунке 1 изображена замкнутая стохастическая сеть, W -функции характеризуют коэффициенты пропускания соответствующих петель, которые в свою очередь, выражены через тип распределения случайной величины. Условная вероятность выполнения той или иной дуги, выражена тем, что сигнал пройдет через регулятивную карту одного контура за предписанное время с допустимой задержкой или без нее, что характеризуется масштабом времени.

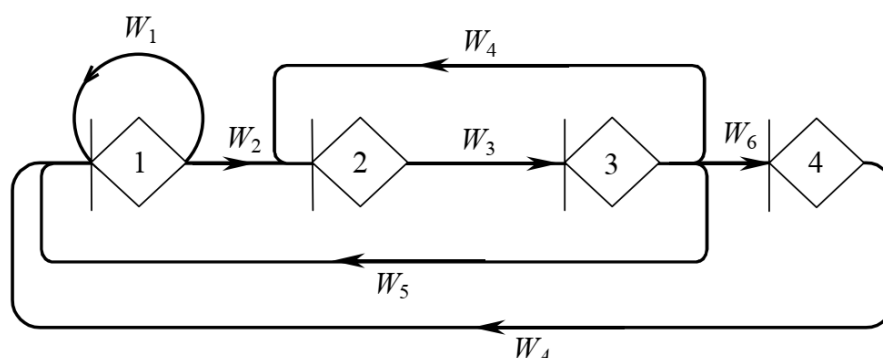


Рисунок 1. Замкнутая стохастическая сеть.

Для узла 1 условная вероятность дуги P_{1-2} может иметь значение 1, при масштабе времени равном 1, либо $0,1 \dots 0,99$ при масштабе времени < 1 (наличие временной

задержки), тогда как условная вероятность дуги P_{1-1} при масштабе времени 1 равна 0 (отсутствие задержки), либо $0,99...0,1$ при масштабе времени < 1 (наличие временной задержки).

4. Выводы

Таким образом, аналитический и вычислительный аппарат GERT-сети может быть использован для оценки вероятностной составляющей временных характеристик в многоконтурных системах управления АСУ ТП. Это, в свою очередь, позволит нам провести исследования, связанные с выполнением всей сети. В частности, мы сможем определить моменты распределения времени выполнения сети, с помощью которых будут вычислены математическое ожидание и дисперсия времени выполнения сети и соответствующего ей процесса.

Список литературы

1. Калинин, А.О. Методика расчета временных характеристик элементов автоматизированной системы управления на примере замкнутого контура регулирования давления на участке трубопровода под управлением контроллера ОВЕН ПЛК100 220 / А.О. Калинин [и др.] // Сибирский журнал науки и технологий. – 2017. – Т. 18. – № 2. – С. 387-395.
2. Федоров, Ю.К. Порядок создания, модернизации и сопровождения АСУТП / Ю.К. Федоров. – М.: Инфра-Инженерия, 2011. – 576 с.
3. Филипс, Д. Методы анализа сетей: Пер. с англ./ А. Гарсиа-Диас. / Д. Филипс. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
4. Таха Хемди А. Введение в исследование операций: пер. с англ. 7-е изд. / Таха Хемди А. М.: Вильямс, 2005. – 912 с.: ил.
5. Ковалев, И.В. Алгоритмизация детерминированных моделей технологических циклов автоматизированных систем управления / И.В. Ковалев, В.В. Лосев и др. Вестник СибГАУ, 2016. – Том 17, № 3. – с. 569-574.
6. Neumann, Klaus. Stochastic Project Networks: Temporal Analysis, Scheduling and Cost Minimization. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems / Klaus Neumann. – Springer Berlin, Heidelberg, 1990. – 297 с.

7. Ковалев, И.В. Анализ функции распределения временной задержки замкнутого контура регулирования параметров технологического процесса / И.В. Ковалев, М.В. Сарамуд, А.О. Калинин и др. // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2022. – № 2. – С. 08-14.
8. Ковалев, И.В. Автоматизированные системы управления. Учебное пособие / И.В. Ковалев, В.В. Лосев и др. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2016. – 240 с.